

# Procedure for running of four-stroke reciprocating piston internal combustion engine

~~THIS PAGE BLANK (USPTO)~~

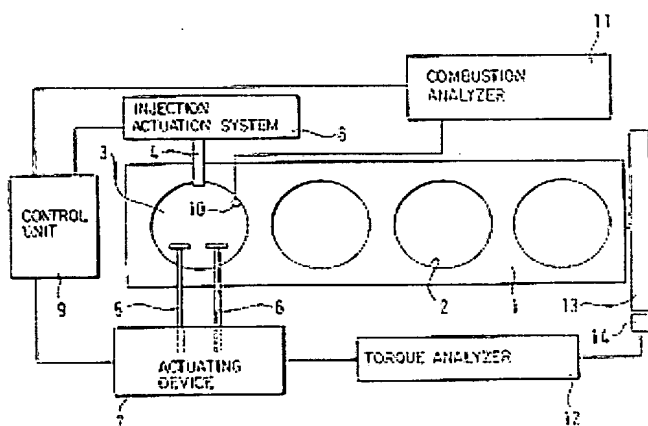
Patent number: DE19810935 **BEST AVAILABLE COPY**  
Publication date: 1999-09-16  
Inventor: NIEBERDING ROLF GUENTHER (FR); ENDERLE CHRISTIAN (DE); VENT GUIDO (DE)  
Applicant: DAIMLER CHRYSLER AG (DE)  
Classification:  
- international: F02B3/10  
- european: F02B1/12; F02B7/02; F02D13/02; F02D35/02  
Application number: DE19981010935 19980313  
Priority number(s): DE19981010935 19980313

Also published as:

WO9947797 (A1)  
EP1062412 (A1)  
US6499458 (B1)  
EP1062412 (B1)

## Abstract of DE19810935

In a firing phase the held-back exhaust gas is compressed in the domain of the gas exchange dead center and then expanded. In this phase of the working cycle the firing fuel is injected into the combustion chamber (3) for stabilizing the primary combustion. A control circuit by consideration of the inadvertent RPM and load fluctuations of the engine stabilizes the primary combustion through quantity and injection times of the firing fuel.



Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 10 935 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**F 02 B 3/10**

②① Aktenzeichen: 198 10 935.0  
②② Anmeldetag: 13. 3. 98  
④③ Offenlegungstag: 16. 9. 99

**DE 198 10 935 A 1**

⑦① Anmelder:  
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:  
Nieberding, Rolf Günther, Dipl.-Ing., Fontainebleau,  
FR; Enderle, Christian, Dipl.-Ing., 73666  
Baltmannsweiler, DE; Vent, Guido, Dipl.-Ing., 67346  
Speyer, DE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
DE 195 19 663 A1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zum Betrieb einer im Viertakt arbeitenden Hubkolben-Brennkraftmaschine

⑤⑦ Bei einer im Viertakt arbeitenden Hubkolben-Brennkraftmaschine erfolgt ein Verfahren zu deren Betrieb mit homogenen, mageren Grundgemisch aus Luft, Kraftstoff und zurückgehaltenem Abgas sowie mit einer Kompressionszündung und einer direkten Kraftstoffeinspritzung in einen Brennraum. Das Volumen des Brennraums ändert sich zyklisch, und der Brennraum ist durch mindestens ein Einlaßorgan mit Frischgas füllbar, und die Verbrennungsabgase sind zumindest teilweise durch mindestens ein Auslaßorgan aus dem Brennraum ausschleubar. Um Zündprobleme bei Kompressionszündung und Niedriglast zu vermeiden, wird in einer Aktivierungsphase das rückgehaltene Abgas im Bereich des Ladungswechseltotpunkts LOT komprimiert und anschließend expandiert und in dieser Phase des Arbeitszyklus Aktivierungskraftstoff zur Stabilisierung der Hauptverbrennung in den Brennraum eingespritzt.

**DE 198 10 935 A 1**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer im Viertakt arbeitenden Hubkolben-Brennkraftmaschine der im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Gattung.

Hubkolben-Brennkraftmaschinen mit innerer Verbrennung bieten bei Kompressionszündung homogener, magerer Gemische die Möglichkeit geringer Stickoxidbildung bei hohem Wirkungsgrad, wenn Drosselregelung und fettes Gemisch vermieden werden. Die Kompressionszündung funktioniert bei motorisch üblichen Verdichtungen nur mit Abgasrückhaltung. Bei niedriger Motorlast und -drehzahl sowie bei kaltem Motor reicht jedoch auch die Temperatursteigerung durch Abgasrückhaltung nicht zur sicheren Zündung der Frischladung aus.

In der DE-A 195 19 663 ist ein Verfahren zum Betrieb eines Verbrennungsmotors mit Kompressionszündung beschrieben. Hier wird in einer ersten Stufe ein mit äußerer Gemischbildung erzeugtes homogenes und mageres Luft/Kraftstoffgemisch bis nah an die Zündgrenze komprimiert. In einer zweiten Stufe wird eine Zusatzmenge des gleichen Kraftstoffs fein zerstäubt und unter Vermeidung von Wandberührungen in den Verbrennungsraum eingespritzt. Der spät eingespritzte Kraftstoff bildet eine Gemischwolke, die sich entzündet, da deren Zündgrenze aufgrund des höheren Kraftstoffgehalts unterhalb der in der ersten Stufe erreichten Kompressionstemperatur liegt. Diese Verhältnisse gelten bei höherer Motorlast und -Drehzahl und betriebswarmem Motor.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Gattung zu schaffen, das auch bei Niedriglast und Niedrigdrehzahl sowie bei Betrieb des kalten Motors eine sichere Zündung und eine verbrauchs- und schadstoffarme Verbrennung ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren entzündet die Hubkolben-Brennkraftmaschine das Gemisch aus Luft und Kraftstoff, über dessen Temperaturerhöhung. Die Temperaturerhöhung des Frischgemisches wird durch Mischung mit rückgehaltenem Abgas des vorhergehenden Zyklus herbeigeführt und durch die sich anschließende, geometrische Kompression des abgeschlossenen, maximalen Ausgangsvolumens bis auf ein verbleibendes Restvolumen. In dem komprimierten Volumen stellt sich eine Temperatur ein, die das Gemisch zur Entzündung bringt. Der Verbrennungsprozeß, der sich an die Kompressionszündung des homogenen, mageren Gemischs anschließt, ist ein durch die freigesetzte Energie sich selbst erhaltender Prozeß.

Das Abgas entsteht im Brennraum durch Verbrennung des Frischgemischs. Die während der Verbrennung freigesetzte Energie wird durch Expansion bis zum maximalen Brennraumvolumen abgeführt. Anschließend wird ein Auslaßorgan geöffnet und Abgas durch die Verringerung des Brennraumvolumens hinausgeschoben. Im Laufe des Auschiebevorgangs, während der Verringerung des Brennraumvolumens, schließt das Auslaßorgan und hält das Abgas zurück. Dieses wird bis zum minimalen Brennraumvolumen komprimiert. Das rückgehaltene Abgas entstand bei einer Verbrennung unter Luftüberschuß. Die Verbrennungsphase liegt zwischen der Kompressions- und Expansionsphase im Bereich der maximalen geometrischen Verdichtung. Die Anzahl der thermodynamischen Phasen des Viertaktmotors beläuft sich damit auf fünf Phasen.

Zur Erweiterung des motorischen Betriebsbereichs mit Kompressionszündung homogener, magerer Gemische wird eine sechste thermodynamische Phase, die Aktivierungs-

phase, zwischengeschaltet. Während der Kompression des rückgehaltenen Abgases wird eine Aktivierungskraftstoffmenge in das Luftabgasgemisch gespritzt und mit den restlichen Luftanteilen im Brennraum möglichst homogen verteilt. Dem Kraftstoff wird thermische Energie durch Leitung und Kompression zugeführt, so daß eine chemische Reaktion und/oder eine Zündung eingeleitet wird. Durch eine vollständige Verbrennung des Aktivierungskraftstoffs wird die thermische Energie des verbliebenen Abgases zur Sicherung der Zündung im nächsten Zyklus erhöht. Ist die Verbrennung unvollständig, so wird zumindest die chemische Aktivität der rückgehaltenen Abgasmenge erhöht (Radikalbildung), ohne dabei die Temperatur deutlich anzuheben. In beiden Fällen und in deren Mischzustand kann von einer Aktivierung gesprochen werden. Durch die Aktivierung des rückgehaltenen Abgases kann durch eine geringere Masse desselben eine größere Frischladungsmasse entzündet werden.

Bei einer Verbrennung während der Abgaskompression erhöht sich der Druck- und Temperaturzustand des rückgehaltenen Abgases im Brennraum. Diese Art der Aktivierung wird auch kaskadische Verbrennung genannt, da die Verbrennung über zwei Zyklen stattfindet. Dies muß in einer späteren Ansteuerzeit des Einlasses berücksichtigt werden, um durch eine längere Expansion des aktivierten Abgases eine negative Druckdifferenz am Einlaßventil sicherzustellen. Eine Abgasvorlagerung oder Ladungsrückschiebung in das Saugrohr ist nicht vorgesehen, da die zur Reaktionseinleitung notwendige Abgasmenge durch Strömungs- und Mischungsbewegungen ihre spezifische Enthalpie verlieren.

Bei niedrigen Drehzahlen, also hohen Wärmeverlusten an der Wand, wird die maximale Aktivierung des Abgases angestrebt. Dabei besteht die Gefahr, daß eine vollständige Verbrennung bei der Abgaskompression das Druckniveau im Brennraum so anhebt, daß anschließend die Druckdifferenz zwischen der Umgebung und dem Brennraum nicht ausreicht, um in der verbliebenen Zeit der geöffneten Einlaßventile eine ausreichende Menge an Frischgas anzusaugen. Zur Steuerung von Druck und Temperatur des rückgehaltenen Abgases im Brennraum wird der Einspritzzeitpunkt des Aktivierungskraftstoffs variiert. Findet die Einspritzung früh, also noch während der Verringerung des Brennraumvolumens statt, so wird durch die Kompression die Temperatur des Gemischs erhöht, wodurch eine Reaktionseinleitung mit anschließender Verbrennung stattfindet. Findet die Einspritzung des Aktivierungskraftstoffs im Bereich des minimalen Brennraumvolumens statt, so verzögert die Vergrößerung dieses Volumens die chemische Aktivität (Radikalbildung), ohne die sich keine starke Temperatursteigerung im Abgas durch eine selbsterhaltende Reaktionsfähigkeit einstellen kann.

Die Verdampfungsenergie des spät eingespritzten Kraftstoffs entzieht dem komprimierten, rückgehaltenen Abgas thermische Energie. Die Verdampfungsenergie kann auch verwendet werden, um eine unkontrollierte Nachzündung der unvollständig verbrannten Gemischmasse in der Kompression des rückgehaltenen Abgases zu verhindern. Die chemische Aktivierung des Abgases bewirkt eine frühere Einleitung der Hauptreaktion in der sich anschließenden vollständigen Kompressions- und Verbrennungsphase. Über den Zeitpunkt und die Menge der Aktivierungseinspritzung kann der Zündzeitpunkt der Frischladung bei der Hauptverbrennung gesteuert werden.

Auf diese Weise kann über den Regeleingriff einer abkühlenden Zündenspritzung von Aktivierungskraftstoff eine unvollständige Umsetzung in der Hauptverbrennung unterbunden werden. Über mehrere Zyklen hinweg zeigt sich der Einfluß integraler Einflüsse durch Wandwärmübertragung

auf die Verbrennung. Über den geregelten Eingriff der Veränderung der Aktivierung kann der Einfluß der Wandwärmeübertragung innerhalb eines Zyklus für eine Anzahl folgender Zyklen kompensiert werden. Diese Regelung zur Verbrennungsstabilisierung bedarf eines eigenen Regelkreises.

Die unvollständige Verbrennung erhöht die Abgasemission des motorischen Gesamtsystems nicht, da die Steuerzeiten des Einlasses immer so gewählt werden, daß nur Frischgas angesaugt wird. Eine eventuell unvollständige, chemische Reaktion während der Abgaskompression oder Expansion wird aufgrund der nachfolgenden Kompression mit hohem effektivem Verdichtungsverhältnis und der sich anschließenden Umsetzung vollständig umgesetzt. Die Aktivierung wird für den Fall eingesetzt, daß die zyklische Verbrennung bei weiterer Erhöhung des Kraftstoffanteiles im Frischgemisch oder der Abgasrückhaltung nicht mehr aufrechterhalten werden kann. Dieses wird durch unruhigen Lauf oder Lastabfall im Betrieb des Motors erkannt.

Die Logik der Regelung der Zünd- und Nacheinspritzung versucht, die Zünd- und Nacheinspritzmenge minimal im Hinblick auf eine verbrauchsoptimale Verbrennungsgestaltung zu halten. Die Regelung begrenzt die maximale Einspritzmenge durch das Signal des Luftmangels im Abgas (Luft-Kraftstoffverhältnis  $\leq 1$ ) durch die Lambda-Sonde im Abgasstrang.

Die effektive Kompression des Restgases ist abhängig von dem rückgehaltenen Abgasanteil. Sie liegt in den meisten Fällen auf oder unterhalb der halben geometrischen Kompression. Aufgrund der geringen Kraftstoffmengen für die Aktivierung und des noch höheren Abgasanteils fallen auch bei Zündverbrennungen die Spitzendrücke und Spitzentemperaturen im Abgas so gering aus, daß keine Stickoxide in nennenswerter Menge entstehen.

Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den weiteren Ansprüchen und aus der folgenden Beschreibung sowie aus der Zeichnung, in der Ausführungsbeispiele der Erfindung schematisch dargestellt sind. Es zeigen:

**Fig. 1** eine schematische Darstellung einer Hubkolben-Brennkraftmaschine mit einem Steuergerät für die Gaswechselorgane und die Einspritzventile sowie mit Mitteln zur Verbrennungs- und Drehmomentanalyse,

**Fig. 2** ein schematisches Kennfeld der Verteilung von Zünd-, Haupt- und Nacheinspritzung über der Motorlast,

**Fig. 3** ein Zylinderdruckdiagramm mit den Steuerzeiten der Gaswechselorgane und der Einspritzventile.

Der in **Fig. 1** schematisch dargestellte Verbrennungsmotor besitzt einen Zylinderblock **1** mit vier Zylindern **2**, in denen Kolben dichtend geführt sind und die durch einen Zylinderkopf verschlossen sind. Zylinder **2**, Kolben und Zylinderkopf umschließen einen Brennraum **3**, in dem die Verbrennung stattfindet. Im Zylinderkopf befinden sich pro Brennraum **3** ein Kraftstoffeinspritzventil **4**, ein Einlaßorgan **5** und ein Auslaßorgan **6**. Die Gaswechselorgane **5, 6** werden von einer Betätigungsvorrichtung **7**, das Kraftstoffeinspritzventil **4** von einer Einspritzbetätigung **8** geöffnet und geschlossen. Ein Steuergerät **9** steuert den Öffnungs- und Schließzeitpunkt der Gaswechselorgane **5, 6** und des Kraftstoffeinspritzventils **4** stufenlos.

Die Verbrennung wird mit einer Ionenstromsonde **10** in einem Verbrennungsanalysator **11** überwacht, der mit dem Steuergerät **9** verbunden ist. Er wird ergänzt durch einen Drehmomentanalysator **12**, der die Drehungsgleichförmigkeit der Kurbelwelle am Umfang eines Schwungrads **13** mit Hilfe eines Drehzahlsensors **14** detektiert und an das Steuergerät **9** weiterleitet. Zusätzlich kann auch ein Klopfsensor zur Verbrennungsbeurteilung herangezogen werden. Ionenstromsonde **10**, Drehzahlsensor **14** und ggf. ein Klopfsensor liefern Lichtzeitsignale von Lage und Verlauf der Verbren-

nung für das Steuergerät **9**, das unter Berücksichtigung dieser Werte die Steuerung des Kraftstoffeinspritzventils **4** und der Gaswechselorgane **5, 6** bewirkt.

Die **Fig. 2** zeigt ein schematisches Kennfeld der gesamten Einspritzmengen **IM** über der Motorlast **ML**, aufgeteilt in Zünd- und Nacheinspritzung **ZI**, Haupt- und Nacheinspritzung **MI**. Die Haupt- und Nacheinspritzung **MI** findet bei jeder Motorlast **ML** statt, während die Zünd- und Nacheinspritzung **ZI** nur bei niedriger und die Nacheinspritzung **MI** nur bei hoher Motorlast **ML** angewendet wird. Details der Kraftstoffeinspritzung werden in einer folgenden Funktionsbeschreibung erläutert.

In **Fig. 3** ist ein sich über mehr als 720° Kurbelwinkel erstreckendes Zylinderdruckdiagramm mit den Steuerzeiten bzw. Steuerzeitenbereichen der Gaswechselorgane **5, 6** und der Kraftstoffeinspritzventile **4** sowie mit vier Takten und sechs Phasen des Arbeitszyklus dargestellt. Anhand dieses Zylinderdruckdiagramms soll die Funktion des erfindungsgemäßen Verfahrens erläutert werden:

Beim Viertaktverfahren entspricht ein Takt einem vollen Kolbenhub. Der erste Takt **1T** beginnt im Ladungswechsel Totpunkt **LOT** bei 0° Kurbelwinkel und endet im ersten unteren Totpunkt **UT** bei 180° Kurbelwinkel. Ihm folgt der zweite Takt **2T**, der im Zündungstotpunkt **ZOT** endet. Darauf beginnt der dritte Takt **3T**, der im zweiten unteren Totpunkt **ZOT** bei 540° Kurbelwinkel endet. Der anschließende vierte Takt **4T** endet im Ladungswechselstotpunkt **LOT** bei 720° Kurbelwinkel. Dann beginnt die nächste Taktfolge.

Die sechs Phasen des Arbeitszyklus hängen überwiegend von den Steuerzeiten der Gaswechselorgane **5, 6** ab und sind zum Teil taktübergreifend.

Der Arbeitszyklus beginnt mit einer Aktivierungsphase **a**, bei der zwischen Auslaßschluß **AS** und Einlaßöffnen **EO** im Bereich des Ladungswechselstotpunkts **LOT** rückgehaltenes Abgas komprimiert und expandiert wird. In der Aktivierungsphase **a** wird bei geringer Motorlast **ML** Aktivierungskraftstoff durch eine Zünd- und Nacheinspritzung **ZI** in das rückgehaltene Abgas eingespritzt. Bei sehr niedriger Motorlast **ML** geschieht dies während der Kompression der Aktivierungsphase **a**. In dem heißen rückgehaltenen Abgas verdampft der fein zerstäubte Aktivierungskraftstoff und bildet mit dem Restsauerstoff des rückgehaltenen Abgases ein zündfähiges Gemisch. Der Restsauerstoff entstand aus dem mageren Gemisch des vorhergehenden Arbeitszyklus. Im Bereich des Aktivierungskraftstoffes mit der Folge einer Temperatur- und Druckerhöhung des rückgehaltenen Abgases. Damit sind die Voraussetzungen für eine sichere Zündung der Haupt- und Nacheinspritzmenge im Bereich des Zündstotpunkts **ZOT** auch bei geringer Motorlast **ML** und Kaltmotorbetrieb gegeben.

Da es sich bei dem Aktivierungskraftstoff nur um geringe Mengen handelt, die außerdem die stark abgashaltige Atmosphäre verbrennen, bildet sich dabei praktisch kein Stickoxid. Die Temperaturerhöhung des rückgehaltenen Abgases gestattet eine Verringerung von dessen Menge zugunsten einer höheren Frischgasmenge.

Mit zunehmender Motorlast **ML** und Motortemperatur wird die Zünd- und Nacheinspritzung **ZI** nach später verschoben. Bei einer Zünd- und Nacheinspritzung im Ladungswechselstotpunkt **LOT** oder danach kommt es zu keiner Zündung, sondern zu einer Radikalbildung und chemischen Aktivierung des Aktivierungskraftstoffes, die zur gewünschten Zündverbesserung der Haupt- und Nacheinspritzmenge führt. Der teilverbrannte oder aktivierte Aktivierungskraftstoff wird bei der Hauptverbrennung vollständig verbrannt, wodurch Kohlenwasserstoffemission verhindert wird.

Oberrhalb einer bestimmten Motorlast **ML** und bei betriebswarmem Motor entfällt die Zünd- und Nacheinspritzung auf-

grund des ausreichenden Abgasanteils, wie dies aus der Darstellung in Fig. 2 ersichtlich ist.

Das Einlaßöffnen EÖ ist für den Zeitpunkt des Unterschreitens des Umgebungsdrucks  $P_u$  im Brennraum 3 festgelegt. Dadurch wird ein Rückexpandieren von Abgas in den Ansaugtrakt und damit ein Abkühlen des Abgases vermieden. Der Zeitpunkt des Einlaßöffnens EÖ und damit die Mängel der ansaugbaren Frischladung und die dadurch mögliche Motorlast ML hängen vom Zeitpunkt des Auslaßschließens AS und von der Menge und dem Einspritzzeitpunkt der Zündeinspritzung ZE ab. Deswegen ist in Fig. 3 für das Auslaßschließen AS und für das Einlaßöffnen EÖ ein Bereich angegeben, der ein Verstellen der Motorlast ML erlaubt. Mit dem Einlaßöffnen EÖ beginnt die Ansaugphase b und die Haupteinspritzung III. Die Ansaugphase b reicht bis zum Einlaßschließen ES. Dies geschieht beim Überschreiten des Umgebungsdrucks  $P_u$  im Brennraum 3 im Bereich des ersten unteren Totpunkts 1UT. Die Haupteinspritzung III reicht, je nach Motorlast ML, über diesen Zeitpunkt hinaus. Durch die früh beginnende Haupteinspritzung III wird eine intensive Mischung von Hauptkraftstoff mit Frischladung und rückgehaltenem Abgas zu einem homogenen, mageren Luft/Abgas/Kraftstoff-Gemisch bewirkt.

Dieses wird ab der beim Einlaßschließen ES beginnenden Kompressionsphase c komprimiert. Dabei steigt die Temperatur des homogenen, mageren Gemischs bis zu dessen Zündpunkt an. Dieser liegt kurz vor dem Zündungstotpunkt ZOT. Seine Lage wird durch Menge und Einspritzzeitpunkt des Aktivierungskraftstoffs und ggf. durch Variation der effektiven Verdichtung mittels variablem Einlaßschluß gesteuert.

In der sich der Zündung anschließenden Verbrennungsphase d findet eine sich selbst erhaltende oder sogar sich selbstbeschleunigende Verbrennung statt. Da letztere bei höherer Motorlast ML leicht zu einer klopfenden Verbrennung führt, ist für diesen Betriebsbereich eine einfache oder sequenzielle Nacheinspritzung NE in die Kompressionsphase c vorgesehen. Dadurch wird aufgrund der relativ späten Kraftstoffeinspritzung durch die Verdampfungskälte des Kraftstoffs eine lokale Gemischabkühlung mit daraus folgender Zündverzögerung bewirkt, die einen klopffreien Verlauf der Verbrennung zur Folge hat.

Der Verbrennungsphase d schließt sich die Expansionsphase e an, die durch das Auslaßöffnen AÖ im Bereich des zweiten unteren Totpunktes 2UT beendet wird. Das Auslaßöffnen AÖ kann in Abhängigkeit von der Motorlast ML und der Motordrehzahl zum Erreichen maximalen Wirkungsgrads variiert werden. Der Expansionsphase e schließt sich die Ausschleppphase f an, die durch den variablen Auslaßschluß AS beendet wird, der zugleich den nächsten Arbeitszyklus eröffnet.

Ein Regelkreis, der ungewollte Schwankungen von Motordrehzahl und Motorlast ML berücksichtigt, stabilisiert den Zündzeitpunkt und den Verlauf der Hauptverbrennung durch Menge und Einspritzzeitpunkt des Aktivierungskraftstoffs. Dabei minimiert der Regelkreis die Menge des Aktivierungskraftstoffs und begrenzt die Gesamtkraftstoffmenge auf die stöchiometrische. Auf diese Weise wird ein funktionssicheres Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine mit geringem Kraftstoffverbrauch und geringer Schadstoffemission erreicht.

Alternativ für den Einsatz der chemischen Aktivierung bietet sich die Steuerung des Zündzeitpunktes über die Lage des Einspritzzeitpunktes der Haupteinspritzung in die noch rückgehaltene Abgasmenge bei ausreichendem Volumen vor Öffnung der Einlaßorgane an.

1. Verfahren zum Betrieb einer im Viertakt arbeitenden Hubkolben-Brennkraftmaschine mit einem homogenen, mageren Grundgemisch aus Luft, Kraftstoff und zurückgehaltenem Abgas sowie mit einer Kompressionszündung und direkter Kraftstoffeinspritzung in einen Brennraum (3), dessen Volumen sich zyklisch ändert und der durch mindestens ein Einlaßorgan (5) mit Frischgas füllbar ist und die Verbrennungsabgase durch mindestens ein Auslaßorgan (6) zumindest teilweise aus dem Brennraum (3) ausschleppbar sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß in einer Aktivierungsphase (a) das rückgehaltene Abgas im Bereich des Ladungswechseltotpunktes (LOT) komprimiert und anschließend expandiert wird und daß in dieser Phase des Arbeitszyklusses Aktivierungskraftstoff zur Stabilisierung der Hauptverbrennung in den Brennraum (3) eingespritzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Regelkreis unter Berücksichtigung unbeabsichtigter Drehzahl- und Lastschwankungen der Brennkraftmaschine der Hauptverbrennung durch Menge und Einspritzzeitpunkt des Aktivierungskraftstoffs stabilisiert.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Regelkreis die Menge des Aktivierungskraftstoffs minimiert und die Gesamtkraftstoffmenge auf die stöchiometrische begrenzt.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Regelkreis den Zündzeitpunkt und den Verlauf der Hauptverbrennung durch Zeitpunkt und Menge der Einspritzung des Aktivierungskraftstoffs beeinflußt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Aktivierungskraftstoff bei niedriger Motorlast und -drehzahl sowie bei Betrieb der kalten Brennkraftmaschine vorzugsweise zu Beginn der Kompression des rückgehaltenen Abgases, mit steigender Motorlast und -drehzahl sowie mit steigender Motortemperatur jedoch später eingespritzt wird und ab einer bestimmten Motorlast und -drehzahl sowie bei betriebswarmer Brennkraftmaschine entfällt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Aktivierungskraftstoff im rückgehaltenen Abgas homogen verteilt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß eine Steuerung des Zündzeitpunktes über die Lage des Einspritzzeitpunktes der Hauptkraftstoffeinspritzung in die noch rückgehaltene Abgasmenge bei ausreichendem Volumen vor Öffnung der Einlaßorgane erfolgt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Beginn der Kompression des rückgehaltenen Abgases durch den Schließzeitpunkt des Auslaßorgans (6) und das Ende der Expansion des rückgehaltenen Abgases durch den Öffnungszeitpunkt des Einlaßorgans (5) bestimmt werden.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Einlaßorgan (5) erst geöffnet wird, nachdem der Druck im Brennraum (3) den Umgebungsdruck unterschritten hat.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die effektive Verdichtung des rückgehaltenen Abgases von dessen Menge ab-

hängt und liegt.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

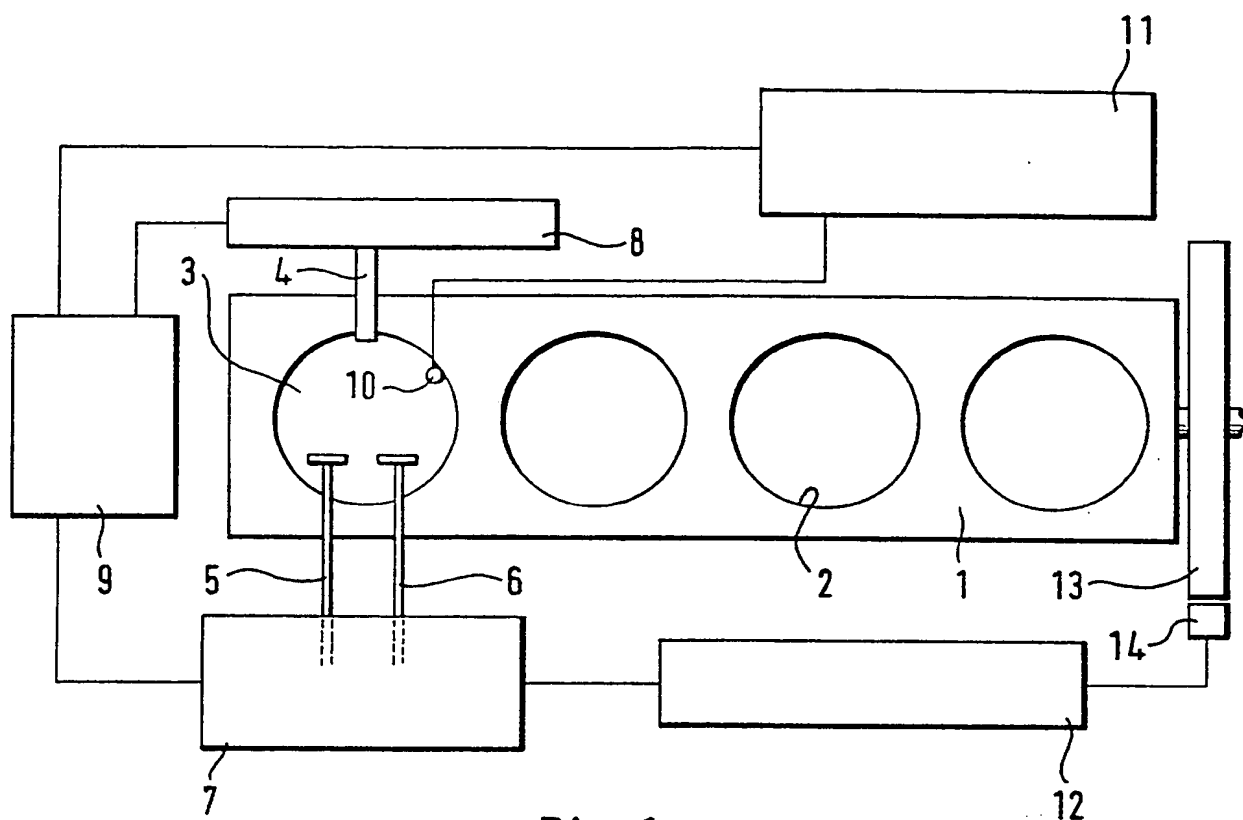


Fig. 1

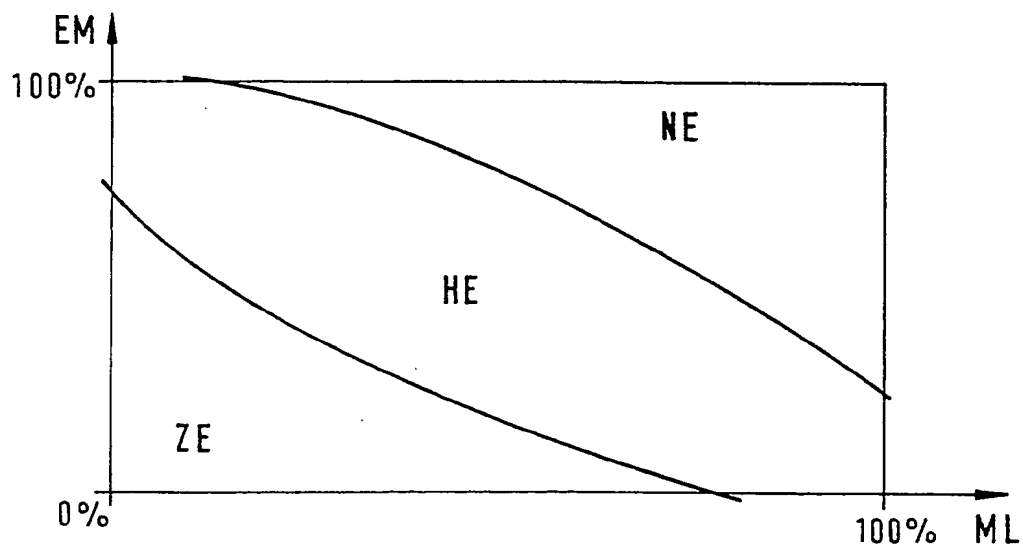


Fig. 2

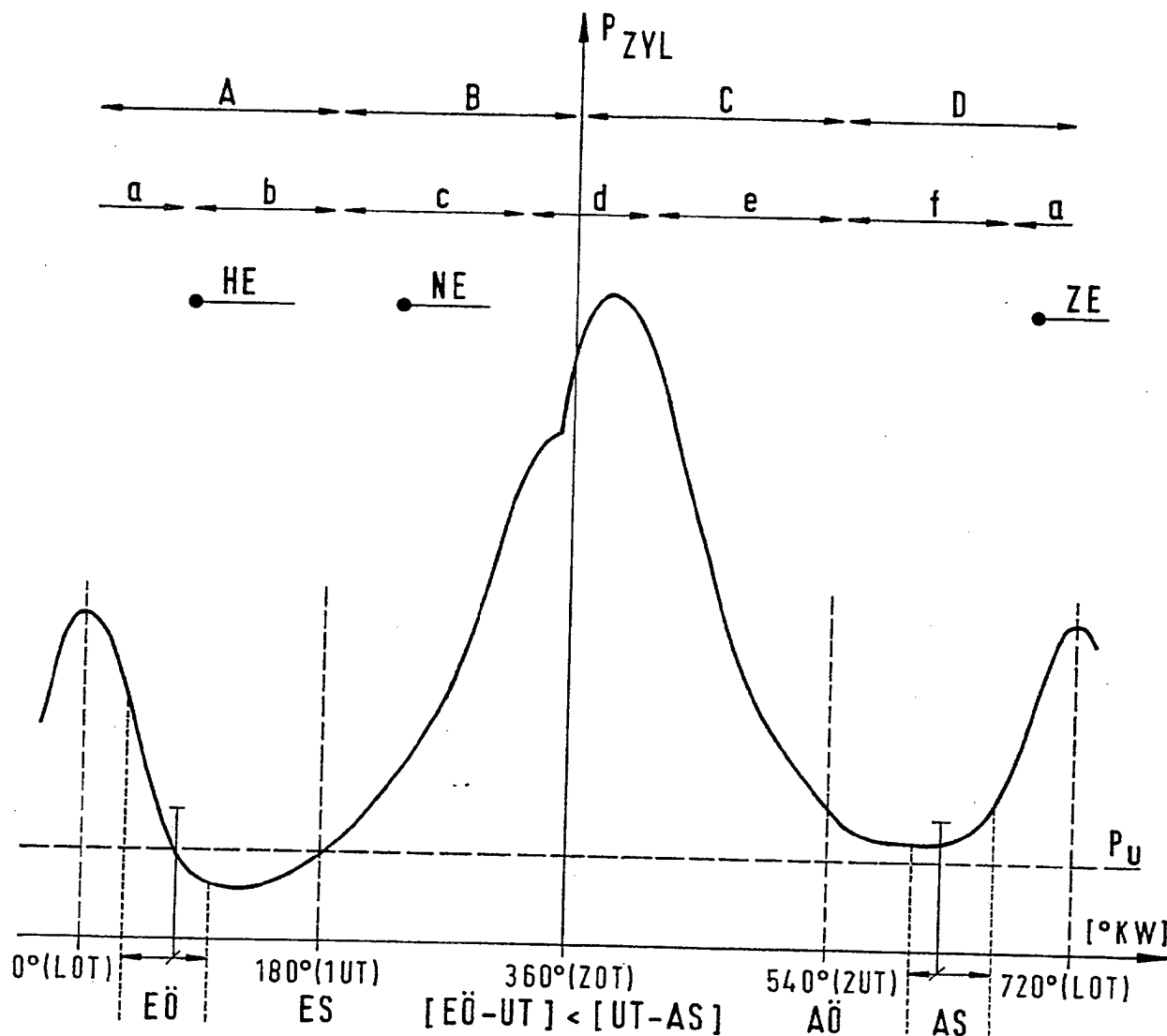


Fig. 3

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**